

EVALUASI STRUKTUR ATAS KOMPONEN JALAN REL BERDASARKAN PASSING TONNAGE (Studi Kasus : Jalan Rel Lintas Tanjung Karang–Bekri)

Fery Hendi Jaya¹, Miswanto²

Jurusan Teknik Sipil Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai
Jl. Imam Bonjol No. 468 Langkapura Bandar Lampung, Indonesia
E-mail : feryhendijaya@yahoo.co.id¹, miswanto6655@gmail.com²

ABSTRAK

Struktur atas jalan rel Lintas Tanjung Karang – Bekri merupakan lintas utama jalan rel sepanjang 64,95 kilometer yang melewati 4 stasiun dan melayani 48 kereta api perharinya, sehingga otomatis akan menurunkan kualitas pelayanan komponen jalan rel kereta api.

Evaluasi komponen rel terpasang pada jalan rel kereta api dilakukan dengan menghitung daya angkut lintas jalan rel untuk satu tahun, kemudian membandingkan komponen jalan rel terpasang berdasarkan standar perencanaan jalan rel sesuai dengan klasifikasi kelas jalan rel.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan jalan rel termasuk dalam kelas I dengan daya angkut lintas 54,940.644 ton/tahun, Untuk analisis beban lintas bantalan beton produksi BSD sangat memenuhi syarat namun untuk Rel perhitungan berdasarkan Tegangan ijin yang terjadi di dasar rel = $1.181,56 \text{ kg/cm}^2 > 1.176,80 \text{ kg/cm}^2$ (tidak memenuhi syarat), maka dianjurkan untuk mengembalikan fungsi dengan mengganti rel R.54 menjadi R.60 sepanjang 64,95 kilometer. Alasannya komponen ini dianggap kurang memenuhi standar operasional pelayanan jalan rel berdasarkan daya angkut lintas jalan rel.

Kata Kunci: *Evaluasi, Komponen Jalan Rel, Passing Tonnage*

PENDAHULUAN

Saat ini transportasi merupakan bagian penting yang tidak dapat terpisahkan dari kehidupan manusia. Transportasi memiliki hubungan yang erat dengan jangkauan dan lokasi kegiatan manusia, barang-barang, jasa bahkan hasil industri. Jika dihubungkan dengan kehidupan dan kegiatan manusia, transportasi juga mempunyai peranan yang signifikan dalam aspek-aspek sosial, ekonomi, lingkungan, politik dan pertahanan keamanan.

Dengan tersedianya transportasi yang baik dalam kehidupan masyarakat adalah harapan besar demi tercapainya peningkatan perekonomian masyarakat.

Sistem transportasi dalam masyarakat dapat dikatakan baik apabila transportasi tersebut dapat memberikan pelayanan yang aman, nyaman, cepat dan efisien.

Terciptanya sistem transportasi yang baik tersebut akan dapat tercapai apabila ada kesesuaian antara penyediaan sarana dan prasarananya. Alasannya sarana dan prasarana transportasi merupakan hal yang saling berkaitan dan tidak akan dapat dipisahkan. Sarana transportasi yang baik tidak akan berfungsi secara efektif jika tidak didukung dengan prasarana yang baik pula. Dengan terciptanya sebuah sistem transportasi yang baik, maka masyarakat akan lebih tertarik menggunakan moda transportasi publik. Semakin besar

jumlah masyarakat yang lebih menggunakan moda transportasi publik, maka angka kemacetan lalu lintas akibat peningkatan angkutan pribadi dan tingkat polusi akan semakin berkurang.

TINJAUAN PUSTAKA

Peraturan Menteri Perhubungan nomor 60 Tahun 2012 menjelaskan bahwa jalan rel merupakan satu kesatuan konstruksi yang terbuat dari baja, beton atau konstruksi lain yang terletak di permukaan, di bawah dan di atas tanah atau bergantung beserta perangkatnya yang fungsinya mengarahkan jalannya kereta api dan sebagai pijakan mengelindingnya roda kereta api dan meneruskan beban dari roda kereta api kepada bantalan.

Kelas Jalan Rel

Kelas jalan rel yang ada di Indonesia dapat dibagi berdasarkan lebar jalan rel yang ada di Indonesia. Lebar jalan rel tersebut dibagi atas lebar jalan rel 1067 mm dan lebar jalan rel 1435 mm.

Struktur Jalan Rel

Secara umum jalan rel terbentuk dari dua batang rel baja yang diletakkan diatas balok-balok melintang. Balok-balok melintang inilah yang disebut dengan bantalan.



Gambar 1. Struktur Jalan Rel (Sumber : Sri Atmaja P. Rosyidi, 2005)

Komponen Jalan Rel

1. Struktur Atas Jalan Rel
 - a. Rel (Rail)
 - b. Sambungan (Joint)
 - Sambungan Menumpu (*Support Joint*)
 - Sambungan menggantung (*Suspended joint*)
 - c. Bantalan
 - Bantalan beton blok ganda (*bi-block*)
 - Bantalan beton blok tunggal (*monolithic*)
 - d. Penambat Rel
 - e. Wessel
 - Lidah
 - Jarum dan sayap
 - Rel lantak
 - Rel paksa
 - Penggerak wessel
2. Struktur Bawah Jalan Rel
 - a. komponen balas (*ballast*),
 - b. sub-balas (*subballast*),
 - c. drainase jalan rel,
 - d. tanah dasar (*improve subgrade*)
 - e. tanah asli (*natural ground*).

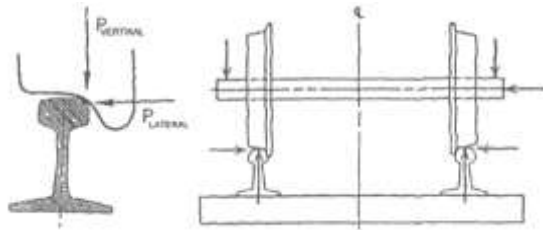
Beban Lintas Jalan Rel

Secara garis besar struktur jalan rel yang baik, harus dapat menjamin keamanan, kenyamanan, umur teknis dan geometri dan dapat dipelihara dengan biaya yang optimal.

Gaya Transversal (Lateral)

Gaya ini terjadi akibat adanya gaya sentrifugal (ketika rangkaian kereta api berada di lengkung horizontal), gerakan ular rangkaian (*snake motion*) dan tidak ratanya geometrik jalan rel yang bekerja pada titik yang sama dengan gaya vertikal.

Gaya ini dapat menyebabkan tercabutnya penambat akibat gaya angkat (*uplift force*), pergeseran pelat andas dan memungkinkan terjadinya *derailment* (anjlog atau keluarnya roda kereta dari rel). Secara skematis gaya transversal akibat beban lintas yang terjadi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Skematis gaya transversal pada rel

Risiko Kerusakan pada JalanRel

1. Keausan pada kepalaRel
2. Gerakan ular (*SnakeMotion*)
3. Patah pada sambungan
4. Patah pada bantalan
5. Kerusakan akibat sabotase
6. Kerusakan akibat longsor pada tubuh jalan rel

Evaluasi Komponen jalan rel berdasarkan passingtonnage

Dalam tahapan perhitungan beban lintas yang melewati jalan rel, tahapan awal adalah dengan melakukan perhitungan beban lintas berdasarkan susunan lokomotif dan gerbong kereta api (*Stamformasi*). Perhitungannya dapat dilakukan dengan persamaan:

$$\text{Beban Lintas (Pd)} = (T1) + (Tb)$$

Dimana ;

Pd = Beban Lintas Harian Kereta Api (ton)

Tb = Tonase barang dan gerbong harian (ton)

Tp = Tonase penumpang dan kereta harian(ton)

Untuk menghitung daya angkut lintas, PT Kereta Api Indonesia (Persero) menggunakan cara penghitungan berdasarkan persamaan dibawah ini :

$$T = 360 \times S \times TE$$

$$TE = Tp + (Kb \times Tb) + (K1 \times T1)$$

dimana ;

TE= Kapasitas angkut lintas (ton/tahun),

TE=Tonase ekivalen (ton/hari),

Tp=Tonase penumpang dan kereta harian

Tb=Tonase barang dan gerbong harian,

T1=Tonase Lokomotif harian,

S=Koefisien yang besarnya bergantung pada kualitas lintas, yaitu:

S=1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang dengan kecepatan maksimum 120 km/jam

S=1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang

Kb=Koefisien yang besarnya bergantung pada beban gandar, yaitu : Kb = 1,5 untuk beban gandar < 18 ton

Kb=1,3 untuk beban gandar > 18 ton

K1=Koefisien yang besarnya ditentukan sebesar 1,4

Analisis tegangan pada komponen struktur jalan rel, rel dianggap sebagai suatu balok tidak berhingga panjangnya, pembebanan yang terjadi dianggap terpusat dengan modulus elastisitas jalan rel (*track stiffness = k*).Persamaannya adalah :

- Formulasi Talbot :

$$Pd = Ps \left[1 + 0.01 \left(\frac{V_{rencana}}{1.609} - 5 \right) \right]$$

- Dumping Faktor :

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

- Momen Maks

$$\frac{Pd}{4\lambda} \quad (\text{Momen Maksimum})$$

- Konfigurasi Loc CC Roda 6
Ma = 0,82 M maks (Momen Maksimum)

- Tegangan Ijin Kelas Jalan

$$\sigma = \frac{Ma \times y}{I}$$

- Tegangan Ijin pada Bawah Rel

$$S_{base} = \frac{Ma}{Wb}$$

Dimana ;

K = modulus kekakuan rel/track

Pd = beban dinamisroda

Ps = Beban rodastatis

Vr = kecepatan rencana(Km/jam)

I = Momen Inersia

Λ = dumpingfactor

E = modulus elastisitas rel

σ = tegangan ijin kelas jalan

Sbase = tegangan ijin pada dasae rel

Ma = momen pada bantalan sisi atas

W_b = momen tahanan bantalan sisi bawah

y = letak garis netral

Sedangkan analisa pada bantalan rel dilakukan untuk mengetahui ketahanan bantalan beton yang menerima beban yang melintasinya. Tegangan yang terjadi pada bantalan beton adalah :

- Analisis Nilai Modulus Elastisitas berdasarkan nilai F_{cu}

$$E = 6400\sqrt{500}$$

- Analisis perhitungan nilai Dumping Faktor (λ_r) pada bagian di Bawah Rel dan Tengah Bantalan :

- Bagian bantalan dibawah rel

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI_x}}$$

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{180kg/cm^2}{4 \times 143.108,351kg/cm \times 15.139,09cm^4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{180}{0,866120082 \times 10^{-10}cm^4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{207,8232 \times 10^{-10}cm^{-4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{2,078232 \times 10^{-8}cm^{-4}}$$

$$\lambda_r = 1,2 \times 10^{-2}cm^{-1}$$

$$\lambda_r = 0,012cm^{-1}$$

- Bagian Tengah Bantalan

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI_{x2}}}$$

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{180kg/cm^2}{4 \times 143.108,351kg/cm \times 10.190,02cm^4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{180}{0,58331078 \times 10^{-10}cm^4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{308,583359 \times 10^{-10}cm^{-4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{3,08583359 \times 10^{-8}cm^{-4}}$$

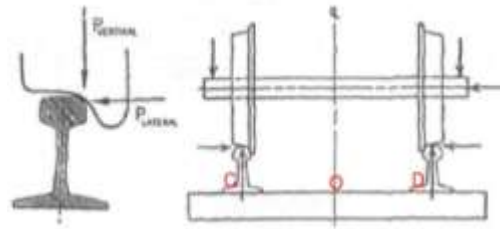
$$\lambda_r = 1,33 \times 10^{-2}cm^{-1}$$

$$\lambda_r = 0,0133cm^{-1}$$

- Analisis perhitungan Beban yang diterima Bantalan dari Kereta Api :

$$Q = 60\%Pd$$

- Analisis perhitungan nilai Momen di titik C dan D (tepat dibawah kaki rel) dan bagian tengah bantalan (O) :



➤ Momen dibagian Bawah Rel (M_{cd})

$$M_o = -\frac{Q}{2\lambda} \cdot \frac{1}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} \left[\begin{array}{l} \sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda(L-c)) \\ + \sin \lambda c (\sinh \lambda c \sinh \lambda(L-c)) \\ + \cosh \lambda c \cdot \cos \lambda(L-c) - \\ \cos \lambda c \cdot \cosh \lambda(L-c) \end{array} \right]$$

➤ Momen dibagian Tengah Bantalan (M_o)

$$M_{cd} = \frac{Q_1}{4\lambda} \cdot \frac{1}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} \left[\begin{array}{l} 2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) \\ [-2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \sinh \lambda L)] \\ - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c \\ + \sinh \lambda L) - \sin 2\lambda a \\ (\sinh \lambda c + \cos \lambda L) \end{array} \right]$$

- Analisis Tegangan tahap Pratekan Awal

➤ Sisi atas bagian bantalan bawah rel

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A_1} - \frac{P_{initial} \cdot e}{W_{1(a)}} \quad \text{dengan } e = 0,135$$

➤ Sisi bawah bagian Bantalan Bawah Rel

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A_1} - \frac{P_{initial} \cdot e}{W_{1(b)}} \quad \text{dengan } e = 0,135$$

➤ Sisi Atas bagian Tengah Bantalan

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A_2} - \frac{P_{initial} \cdot e}{W_{1(a)}} \quad \text{dengan } e = 1,055$$

➤ Sisi Bawah bagian Tengah Bantalan

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A_2} - \frac{P_{initial} \cdot e}{W_{1(b)}} \quad \text{dengan } e = 1,055$$

- Analisis Tegangan tahap Pratekan Efektif

➤ Sisi atas bagian bantalan bawah rel

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A_1} - \frac{P_{efektif} \cdot e}{W_{1(a)}} + \frac{M}{W_{1(a)}} \quad \text{dengan } e = 0,135$$

- Sisi bawah bagian Bantalan Bawah Rel

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A_1} - \frac{P_{efektif} \cdot e}{W_{1(b)}} + \frac{M}{W_{1(b)}} \quad \text{dengan } e = 0,135$$

- Sisi Atas bagian Tengah Bantalan

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A_2} + \frac{P_{efektif} \cdot e}{W_{1(a)}} - \frac{M}{W_{1(a)}} \quad \text{dengan } e = 1,055$$

- Sisi Bawah bagian Tengah Bantalan

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A_2} - \frac{P_{efektif} \cdot e}{W_{1(b)}} + \frac{M}{W_{1(b)}} \quad \text{dengan } e = 1,055$$

METODE PENELITIAN

Pengumpulan data

1. Data perhitungan evaluasi komponen rel berdasarkan *Passing Tonnage*

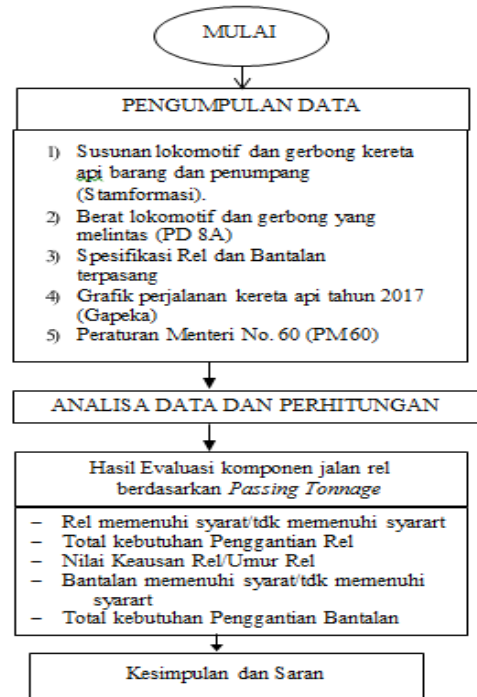
Data yang digunakan untuk evaluasi komponen rel berdasarkan *Passing Tonnage* ini dapat diperoleh dengan melakukan wawancara ataupun pengamatan langsung dilapangan.

2. Analisis data

1) Langkah Pertama : Menghitung daya angkut lintas yang melewati jalan rel ini dalam satu tahun. Analisis ini dilakukan dengan cara menghitung beban (*Tonnage*) setiap gerbong dan lokomotif (*Stamformasi*) kereta api yang melintasi jalan rel berdasarkan grafik perjalanan kereta tahun 2017 (GAPEKA 2017).

2) Langkah Kedua : Setelah daya angkut lintas dalam satu tahun didapatkan, kemudian dilakukan analisis tegangan pada Rel dan Bantalan. Setelah nilai tegangan pada bantalan dan Rel didapatkan, lalu dibandingkan dengan Standar Perencanaan Jalan Rel berdasarkan Daya Angkut Lintas Jalan Rel yang berlaku di Indonesia. Tujuannya untuk mengetahui apakah

Komponen jalan Rel yakni Rel dan Bantalan tersebut memenuhi syarat atau tidaknya sehingga diketahui perlu atau tidaknya untuk melakukan penggantian komponen mengembalikan fungsi jalan Rel berdasarkan Klasifikasi Jalan Rel Kereta Api.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

PEMBAHASAN DAN HASIL

Evaluasi komponen jalan rel berdasarkan *Passing Tonnage*

Tabel 1. Daftar Kereta penumpang yang melintasi Jalur Tanjung Karang – Bekri

NO URUT	KA	JURUSAN KA	LINTAS	AMBAK	JENIS LAKSUNYAN
1	2	3	4	5	6
KA KEMBARAAN BUNDE DI ALMUTAP PP-CAPUKA 2017					
1	2	LINEK SUPREMA	BT - BUK		CC-M
2	2	LINEK SUPREMA	BUK - BT		CC-M
3	2	SIKADIK MEDIA 1	BT - LEB		CC-M
4	2	SIKADIK MEDIA 2	LEB - BT		CC-M
Jumlah LAKSUNYAN KA				4	
KA KEMBARAAN BUNDE DI ALMUTAP PP-CAPUKA 2017					
1	2	KEMUT SEBELA 1	BT - LEB		CC-M
2	2	KEMUT SEBELA 2	LEB - BT		CC-M
3	2	EXHIBIT LAKSUNYA 1	BT - BUK		CC-M
4	2	EXHIBIT LAKSUNYA 2	BUK - BT		CC-M
Jumlah LAKSUNYAN KA				4	
KA KEMBARAAN BUNDE DI ALMUTAP PP-CAPUKA 2017					
1	2	KEMUT SEBELA 1	BT - BUK		KE
2	2	KEMUT SEBELA 2	BUK - BT		KE
3	2	KEMUT SEBELA 1	BT - BUK		KE
4	2	KEMUT SEBELA 2	BUK - BT		KE
5	2	KEMUT SEBELA 1	BT - BUK		KE
6	2	KEMUT SEBELA 2	BUK - BT		KE
Jumlah LAKSUNYAN KA				6	

$$\frac{KMP2 = 1 \times 40 \text{ Ton}}{\text{Total tonase per-hari} = 274} = 40 \text{ Ton/hr}$$

• Jenis Lokomotif yang digunakan : Lokomotif Jenis CC 201 berat isi 82 ton
Maka total beban yang ditarik untuk 1 jenis kereta api penumpang per-hari sebesar 274 ton/hr + 82 ton (berat loko) = 356 ton/hr (untuk satu jenis kereta api).

Perhitungan daya angkut lintas kereta api KRD dilakukan dengan langkah berikut:

- Kereta KRD lintas Tnk-Kb.
- Terdiri dari 4 buah badan kereta masing-masing 40 ton (4 Gerbong x 40 Ton x 4 kali melintas) = 640 Ton/hr,

Maka daya angkut lintas kereta api KRD per- hari nya sebesar 640 Ton/hr.

Sedangkan untuk perhitungan daya angkut lintas kereta api barang Pulp (Kertas) per-hari dilakukan dengan langkah berikut:

- Kereta Api Barang Pulp (Kertas) Lintas Tarahan - Niru
- Jenis Gerbong yang digunakan 8 GD kosong dan 20 GT kosong
- Jenis Lokomotif yang digunakan 1 Lokomotif CC 203
- Beban lintas SF kosongan = GD (12 x 42 Ton) + GT (20 x 50 Ton) + Lok CC 203 (1 x 84 Ton) = 1588 Ton x 2 kali melintas = 1588 x 2 = 3176 Ton/hr (Tonase Lok + Gerbong)

Dengan demikian perhitungan untuk daya angkut lintas Kereta Api Barang Pulp (Kertas) kondisi Kosong per-hari adalah 3176 ton/hr. Sedangkan untuk daya angkut lintas Kereta Api Barang Pulp (Kertas) isian yaitu dapat dihitung dengan ditambahkan Tonase angkut kapasitas harian (5344 Ton/hr), maka daya angkut lintas Kereta Api Barang Pulp (Kertas) isian yaitu 3176 + (5344 x 2 = 10688 Ton) = 13.864 Ton/hr.

Sedangkan untuk perhitungan daya angkut lintas kereta api barang Batubara per-hari dapat dilakukan dengan langkah berikut :

- Kereta Api Barang Batubara (3006)

Lintas Tarahan – Tanjung Enim Baru

- Jenis Gerbong yang digunakan 60 GB BBR kosong
- Jenis Lokomotif yang digunakan 3 Lokomotif CC 202
- Beban lintas SF kosongan = GB BBR (60 x 50 Ton) + Lok CC 202 (3 x 102 Ton) = 3.324 Ton x 1 kali melintas = 3.324 Ton/hr (Tonase Lok + Gerbong 1 rangkaian KA BBR dengan jenis Lokomotif CC 202)

Dengan demikian perhitungan untuk daya angkut lintas Kereta Api Barang Batubara (3006) kondisi Kosong per-hari adalah 3.324 ton/hr (1 rangkaian KA BBR kosongan), dan tiap hari nya terdapat 41 rangkaian Kereta Barang Batubara (isi dan kosongan).

Daya angkut lintas Kereta Api Barang Batubara isian yaitu dapat dihitung dengan ditambahkan Tonase angkut kapasitas harian (57.000/41 rangkaian = 1.390Ton/hr), maka daya angkut lintas Kereta Api Barang Batubara isian yaitu 3.324 + 1.390Ton = 4.714Ton/hr (1 rangkaian KA BBR dengan Lok CC 202).

Untuk perhitungan beban harian lintas baik kereta api penumpang dan barang dengan nomor kereta yang lainnya, dilakukan dalam bentuk Tabel dibawah :

Tabel 7. Beban Lintas Harian KA Penumpang Lintas Tnk - Bki (Gapeka 2017)

No. Urut	Jenis Kereta	Jenis Lintas	Kapasitas		Kapasitas		Kapasitas	Kapasitas	Kapasitas	Kapasitas
			Gerbang	Lokomotif	Gerbang	Lokomotif				
1	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
2	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
3	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
4	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
5	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
6	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
7	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
8	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
9	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
10	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
11	Penumpang	Tnk-Bki	320	400000000	20	0	30			
Jumlah										

Sumber : Stamformasi Unit Operasi PT KAI Divre IV Tanjung Karang

Tabel 8. Beban Lintas Harian Kereta Api Barang Lintas Tnk - Bki (Gapeka 2017)

No. Rel	Spesifikasi	Material	Volume	Unit	Volume	Unit	Volume	Unit	Volume	Unit
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Berdasarkan perhitungan, total beban lintas harian kereta api penumpang lintas Tanjung Karang - Bekri sebesar 1.139 Ton/hr dan untuk Kereta Api barang sebesar 92.824 Ton/Hari. Dengan demikian, maka daya angkut lintas jalan rel Lintas Tanjung Karang – Bekri adalah sebagai berikut:

- PASSING TONAGE LINTAS Tnk - Bki**
Rumus :
- TE = $Tp + (Kb \times Tb) + (K1 \times T1)$
 - T = $360 \times S \times TE$
- T = Daya angkut lintas (ton/thn).
 - TE = Tonage ekuivalen (ton/hari).
 - Tp = Tonage penumpang dan kereta harian.
 - Tb = Tonage barang dan gerbong per hari.
 - S = Koefisien yang besarnya tergantung kualitas lintas: 1,10 untuk lintas dgn ka pnp, V maks = 120 Km/Jam. 1,00 untuk lintas tanpa ka pnp.
 - Kb = Koefisien yang besarnya tergantung beban gandar. 1,5 untuk beban gandar ≤ 18 ton. 1,30 untuk beban gandar > 18 ton.
 - T1 = Berat lokomotif.
 - K1 = Koefisien Lok. 1,40
 - V = Kecepatan Ka. (Km/Jam).

Dimana:
 $TE = 1.139 + (1.3 \times 92.824) + (1,40 \times 12.092)$

$TE = 138.739 \text{ Ton/Hr}$
Maka daya angkut lintas tahunan jalan rel adalah:

$T = 360 \times S \times TE$
 $T = 360 \times 1.1 \times 138.739$
 $T = 54.940.644 \text{ Ton/tahun}$

Berdasarkan perhitungan Daya Angkut lintas tahunan jalan rel diatas, maka dapat disimpulkan bahwa kelas jalan rel untuk lintas Tanjung Karang - Bekri termasuk dalam kelas I (Klasifikasi Jalan rel menurut PM 60 Tahun 2012) dengan daya angkut lintas > 20.10⁶

Kondisi Struktur Jalan rel
Jalan rel lintas Tanjung Karang – Bekri merupakan jalan rel sepanjang 64,95 Kilometer jalan rel kelas I. Pada jalan rel ini menggunakan seluruhnya menggunakan Rel tipe R.54, Bantalan yang digunakan adalah bantalan Beton K.500 dan Penambat yang digunakan adalah penambat jenis *E- Clip (Pandrol)* atau penambat elastis ganda.

Tabel 9. Kuantitas komponen rel terpasang hingga tahun 2018

No	Tipe Rel	Spesifikasi	Volume	Unit	Volume	Unit
1	3+00 / 0+00	150	1000000	1000000	1000000	1000000
2	10+00 / 20+00	160	1000000	1000000	1000000	1000000
3	35+00 / 50+00	180	1000000	1000000	1000000	1000000
4	55+00 / 60+00	140	1000000	1000000	1000000	1000000
		400				

Sumber : Unit Jalan Rel dan Jembatan Divre IV Tanjung Karang

Analisis beban lintas pada struktur jalan rel
Distribusi beban pada struktur jalan rel merupakan penyaluran beban daya angkut lintas yang terjadi dari operasional kereta api pada struktur jalan rel kereta api. Akibat penyaluran beban ini, dapat diperhitungkan besaran reaksi

yang terjadi pada struktur jalan rel yang menjadi bagian utama mengetahui besaran reaksi ini maka akan dapat diketahui kesesuaian komponen rel yang telah terpasang, dilakukan penggantian (angkatan sempurna) atau hanya melakukan proses pemeliharaan biasa.

Analisis Beban Lintas terhadap Rel R.54

▪ Koreksi dimensi rel berdasarkan *passing tonnage*

Type rel yang digunakan pada jalan rel Tanjung Karang - Bekri ini terdiri atas satu jenis type rel yaitu R.54. Jalan rel untuk lintas Tanjung Karang - Bekri termasuk dalam kategori kelas I. Distribusi beban jalan rel dan akibatnya pada type rel, akan dilihat pada analisis berikut:

Tabel 9. Data teknis kelas Jalan rel lintas Tanjung Karang – Bekri lintas Tanjung Karang – Bekri

Sumber : Unit Jalan Rel dan Jembatan Divre IV Tanjung Karang

Berdasarkan data teknis kelas jalan rel diatas, maka kontrol tegangan pada komponen jalan rel dapat dihitung dengan analisis pembebanan sebagai berikut :

1. Type rel R.54

❖ Analisis Beban Dinamis menggunakan Persamaan Talbot (Formulasi Talbot) :

$$Pd = Ps \left[1 + 0.01 \left(\frac{V_{rencana}}{1,609} - 5 \right) \right]$$

$$Pd = 9000 \left[1 + 0,01 \left(\frac{150}{1,609} - 5 \right) \right]$$

$$Pd = 9000 [1 + 0,01(88,225606)]$$

$$Pd = 9000(1 + 0,88225606)$$

$$Pd = 9000(1,88225606)$$

$$Pd = 16.940,30 Kg$$

Dengan Nilai :

Beban Gandar = 18 Ton

Kecepatan Rencana (V) = 1,25 x V maks
= 1,25 x 120 = 150 km/jam

Nilai yang diperoleh diatas adalah < 16.940 kg (nilai tegangan ijin beban

dinamis roda) sehingga masih memenuhi syarat dalam tegangan ijin kelas jalan rel (OK!).

❖ Perhitungan Reduksi/Pengurangan Faktor (Dumping Faktor) :

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{180 Kg / cm^2}{4 \times 2,1 \times 10^6 \times 2346 cm^4}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{180}{19.706,4 \times 10^6 cm^4}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{180}{197,064 \times 10^8 cm^4}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{0,913408842 \times 10^{-8} cm^{-4}}$$

$$\lambda = 0,0098960 cm^{-1}$$

❖ Perhitungan Momen Maksimum (M maks) :

$$\frac{Pd}{4\lambda} = \frac{16.940,30 kg}{4 \times 0,039584 cm^{-1}}$$

$$= \frac{16.940,30 kg}{0,039584 cm^{-1}}$$

$$= 427.958,266 kg / cm$$

DATA TEKNIS KELAS JALAN REL	NILAI
Kecepatan maksimum (V maks)	120 Km/Jam
Kecepatan rencana	1.25 x Vmaks = 125 Km/Jam
Tekanan gandar	18 Ton
Jenis rel	R.54
Inersia rel (Ix)	R.54 = 2346 cm ⁴
Jarak Tepi bawah kaki rel ke garis netral (Iy)	Yb = 76,20 mm
Modulus elastic rel	R.54 = 2.1 x 10 ⁶ kg/cm ²
Modulus kekakuan rel	180 kg/cm ²
Panjang per-batang rel (meter)	R.54= 24 meter

Maka Nilai Ma untuk Konfigurasi 6 roda (CC) adalah sebagai berikut :

$$Ma = 0,82 M maks$$

$$= 0,82 \times 427.958,266$$

kg/cm

$$= 350.925,778 kg/cm$$

❖ Analisis Tegangan terhadap

Tegangan ijin Kelas Jalan :

$$\sigma = \frac{Ma \cdot X}{I \cdot y}$$

$$\sigma = \frac{350.925,778 \text{ kg/cm} \cdot X \cdot 7 \text{ cm}}{2.364 \text{ cm}^4}$$

$$\sigma = 1.047,09312 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan Nilai :

Ma = 350.925,778 kg/cm
 I = 2.346 cm⁴
 Y = 7 cm

Nilai yang diperoleh diatas adalah < 1.325 (nilai tegangan ijin kelas jalan) sehingga masih memenuhi syarat dalam tegangan ijin kelas jalan rel (OK !).

❖ Analisis Tegangan terhadap Tegangan ijin yang terjadi di dasar rel :

$$S_{base} = \frac{Ma}{Wb}$$

$$S_{base} = \frac{350.925,778 \text{ kg/cm}}{297 \text{ cm}^3}$$

$$S_{base} = 1.181,56828 \text{ kg/cm}^2$$

Nilai yang diperoleh diatas adalah > 1.176,80 kg/cm² (nilai tegangan ijin dasar rel) sehingga tidak memenuhi syarat dalam tegangan ijin dasar rel (Tidak OK !).

Tipe rel R.54 merupakan rel yang telah terpasang sebelumnya, namun seiring dengan potwensi meningkatnya jumlah daya angkut lintas kedepan, penggunaan rel R.54 kurang memenuhi syarat sebagai bagian dari komponen struktur jalan rel dalam kurun waktu kedepan. Kebutuhan pergantian rel R.54 menjadi R.60 adalah 64,95 kilometer apabila dilakukan penggantian rel guna memenuhi persyaratan operasional jalan rel untuk lintas Tanjung Karang - Bekri.

- ❖ Kebutuhan penggantian rel
- Kebutuhan rel untuk program penggantian rel R.54 menjadi rel R.60 sepanjang 64,95 kilometer adalah sebagai berikut :
- Panjang 1 batang rel kereta api R 60 adalah 24 meter
 - Panjang lintasan yang akan diganti menjadi R.60 adalah

64.950 meter.

- Total kebutuhan Rel R 60 adalah = $\frac{64.950 \text{ meter}}{24 \text{ meter}} = 2.706 \text{ btg}$

❖ Perhitungan untuk menentukan Umur Rel

- Perhitungan nilai Konstanta

K =	Total Nilai K	=	55,07	=	0,8479
	Total Jarak	=	64,95		

- Perhitungan nilai T

W = berat rel
 = 54kg/m x 2.016 = 108,9 lbs/yd

D = 54,940644 ton x 0.9
 = 60,44075247 MGT

T =

$K.W.D^{0.565} = 0,8479 \times 108,9 \times 60,440^{0.565} = 936,29 \text{ juta ton}$

- Umur Rel

$T = \frac{936.29 \text{ jutaton}}{54.940.644 \text{ ton/tahun}} = 17,04 \text{ thn} \rightarrow 17 \text{ thn}$

Tabel 10. Kebutuhan penggantian rel setiap resort lintas Tanjung Karang - Bekri

Kilometer Lintas	Widyah	Resort Lintas (km)	Kebutuhan Rel (btg)		
			Panjang Rel (km)	Kuat Rel (kg)	Beban Rel (kg)
3+000 / 19+000	Tanjung Karang	16000	21	42000	45
19+000 / 35+000	Bekri	16000	21	42000	45
35+000 / 51+000	Bekri	16000	21	42000	45
51+000 / 67+000	Bekri	16000	21	42000	45
		64,95			2706

Sumber : Unit Jalan Rel dan Jembatan Divre IV Tanjung Karang

Analisis Beban Lintas terhadap Bantalan Beton

Data bantalan beton rel terpasang tipe N-67 kuat tekan K-500 produksi wika beton dan BSD yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 11. Data teknis bantalan beton terpasang (*lanjutan*)

PERMANTAPAN	
Kerangka beton bertulang terpasang pada rel, terpasang dengan bantalan yang dipasang pada rel dengan jarak antar rel: 50 dan 80 cm	
BANTALAN	Ketebalan : 50 dan 80 cm
	Lebar bagian atas : 200 mm
	Ketebalan bagian atas : 20 mm
	Lebar bagian bawah : 200 mm
	Lebar bagian bawah bagian atas : 200 mm
	Ketebalan bagian bawah bagian atas : 20 mm
	Ketebalan bagian bawah bagian bawah : 20 mm
BANTALAN BAGIAN TENGAH BANTALAN	Lebar bagian atas : 200 mm dan 100 mm (1-2 mm)
	Lebar bagian bawah : 200 mm dan 100 mm (1-2 mm)
	Lebar bagian atas bagian atas : 200 mm
	Lebar bagian atas bagian bawah : 200 mm
	Lebar bagian bawah bagian atas : 200 mm
	Lebar bagian bawah bagian bawah : 200 mm
	Lebar bagian atas bagian atas bagian atas : 200 mm
	Lebar bagian atas bagian atas bagian bawah : 200 mm
	Lebar bagian atas bagian bawah bagian atas : 200 mm
	Lebar bagian atas bagian bawah bagian bawah : 200 mm
TUMBUHAN	Ketebalan : 100 mm
	Ketebalan bagian atas : 100 mm dan 100 mm
	Ketebalan bagian bawah : 100 mm dan 100 mm
	Ketebalan bagian atas bagian atas : 100 mm dan 100 mm
	Ketebalan bagian atas bagian bawah : 100 mm dan 100 mm
	Ketebalan bagian bawah bagian atas : 100 mm dan 100 mm

❖ Diketahui Dimensi Bantalan bagian Bawah Rel

- A1 = 456 cm²
- Ix-1 = 15.139,09 cm⁴
- Y1(a) = 10,368 cm
- Y1(b) = 9,64 cm
- W1(a) = 1.460,6 cm³
- W1(b) = 1.571,26 cm³

❖ Diketahui Dimensi Bantalan Bagian Tengah Bantalan

- A2 = 400,75 cm²
- Ix-2 = 10.190,02 cm⁴
- Y1(a) = 9,055 cm
- Y1(b) = 8,445 cm
- W1(a) = 1.125,35 cm³
- W1(b) = 1.206,63 cm³

❖ Analisis Nilai Modulus Elastisitas berdasarkan nilai *Fcu*

$$E = 6400\sqrt{500} = 1,431083506 \times 10^5 \text{ kg/cm}$$

❖ Analisis perhitungan nilai Dumping Faktor pada bagian di Bawah Rel dan Tengah Bantalan :

➤ Bagian bantalan dibawah rel

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI_x}}$$

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{180 \text{ kg/cm}^2}{4 \times 143.108,351 \text{ kg/cm} \times 15.139,09 \text{ cm}^4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{180}{0,866120082 \times 10^{-10} \text{ cm}^4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{207,8232 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{2,078232 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-4}}$$

$$\lambda_r = 1,2 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$$

$$\lambda_r = 0,012 \text{ cm}^{-1}$$

➤ Bagian Tengah Bantalan

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI_x}}$$

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{180 \text{ kg/cm}^2}{4 \times 143.108,351 \text{ kg/cm} \times 10.190,02 \text{ cm}^4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt[4]{\frac{180}{0,58331078 \times 10^{-10} \text{ cm}^4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{308,583359 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-4}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{3,08583359 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-4}}$$

$$\lambda_r = 1,33 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$$

$$\lambda_r = 0,0133 \text{ cm}^{-1}$$

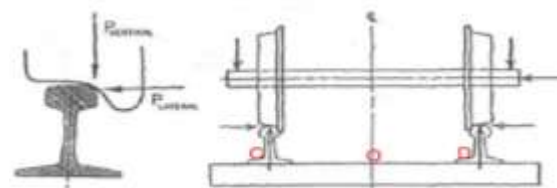
❖ Analisis perhitungan beban yang diterima Bantalan dari Kereta Api :

$$Q = 60\% Pd \quad Pd = 16.940,30 \text{ kg}$$

$$Q = \frac{60}{100} \times 16.940,30 \text{ kg}$$

$$Q = 10.164,18 \text{ kg}$$

❖ Analisis perhitungan nilai Momen di titik C dan D (tepat dibawah kaki rel) dan bagian tengah bantalan (O) :



❖ Momen dibagian Bawah Rel (*Mcd*)

$$Mcd = \frac{Q_1}{4\lambda} \cdot \frac{1}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} \left[\frac{2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \sinh \lambda L) - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh \lambda L) - \sin 2\lambda a (\sinh \lambda c + \cos \lambda L)}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} \right]$$

$$Mcd = 102.123,2 \text{ kg/cm}$$

➤ Momen dibagian Tengah Bantalan (*Mo*)

$$Mo = -\frac{Q}{2\lambda} \cdot \frac{1}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} \left[\frac{\sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda(L-c)) + \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda(L-c)) + \cosh \lambda c \cdot \cos \lambda(L-c) - \cos \lambda c \cdot \cosh \lambda(L-c)}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} \right]$$

$$Mo = -50.613,5353 \text{ kg/cm}$$

❖ Analisis Tegangan tahap Pratekan Awal

➤ Sisi atas bagian bantalan bawah rel

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A_1} - \frac{P_{initial} \cdot e}{W_{1(a)}} \quad \text{dengan } e = 0,135$$

$$\sigma = \frac{18 \times 2.270,24 \text{ kg}}{456 \text{ cm}^2} - \frac{18 \times 2.270,24 \times 0,135}{10460,46 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma = 89,6147368 - 3,7773600$$

$$\sigma = 85,8373768$$

$$\sigma = 85,84 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow < 200 \text{ kg / cm} \Rightarrow \dots\dots(\text{OK!})$$

➤ Sisi bawah bagian Bantalan Bawah Rel

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A_1} - \frac{P_{initial} \cdot e}{W_{1(b)}} \quad \text{dengan } e = 0,135$$

$$\sigma = \frac{18 \times 2.270,24 \text{ kg}}{456 \text{ cm}^2} + \frac{18 \times 2.270,24 \times 0,135}{11571,26 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma = 89,6147368 + 3,51099322$$

$$\sigma = 93,1257$$

$$\sigma = 93,13 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow < 200 \text{ kg / cm} \Rightarrow \dots\dots(\text{OK!})$$

➤ Sisi Atas bagian Tengah Bantalan

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A_2} - \frac{P_{initial} \cdot e}{W_{1(a)}} \quad \text{dengan } e = 1,055$$

$$\sigma = \frac{18 \times 2.270,24 \text{ kg}}{400,75 \text{ cm}^2} + \frac{18 \times 2.270,24 \times 1,055}{1.125,35 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma = 101,969607 + 38,3097326$$

$$\sigma = 140,27934$$

$$\sigma = 140,28 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow < 200 \text{ kg / cm} \Rightarrow \dots\dots(\text{OK!})$$

➤ Sisi Bawah bagian Tengah Bantalan

$$\sigma = \frac{P_{initial}}{A_2} - \frac{P_{initial} \cdot e}{W_{1(b)}} \quad \text{dengan } e = 1,055$$

$$\sigma = \frac{18 \times 2.270,24 \text{ kg}}{400,75 \text{ cm}^2} + \frac{18 \times 2.270,24 \times 1,055}{1.206,63 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma = 101,969607 + 35,7291445$$

$$\sigma = 66,2404625$$

$$\sigma = 66,24 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow < 200 \text{ kg / cm} \Rightarrow \dots\dots(\text{OK!})$$

❖ Analisis Tegangan tahap Pratekan Efektif

➤ Sisi atas bagian bantalan bawah rel

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A_1} - \frac{P_{efektif} \cdot e}{W_{1(a)}} + \frac{M}{W_{1(b)}} \quad \text{dengan } e = 0,135$$

$$\sigma = \frac{18 \times 1.783,76 \text{ kg}}{456 \text{ cm}^2} - \frac{18 \times 1.783,76 \times 0,135}{1.460,46 \text{ cm}^3} + \frac{102.123,2}{1.460,46}$$

$$\sigma = 70,41 - 2,97 + 69,93$$

$$\sigma = 137,37 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow < 200 \text{ kg / cm} \Rightarrow \dots\dots(\text{OK!})$$

➤ Sisi bawah bagian

Bantalan Bawah Rel

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A_1} - \frac{P_{efektif} \cdot e}{W_{1(b)}} + \frac{M}{W_{1(b)}} \quad \text{dengan } e = 0,135$$

$$\sigma = \frac{18 \times 1.783,76 \text{ kg}}{456 \text{ cm}^2} - \frac{18 \times 1.783,76 \times 0,135}{1.571,26 \text{ cm}^3} + \frac{102.123,2}{1.571,26}$$

$$\sigma = 70,41 + 2,76 - 64,99$$

$$\sigma = 8,18 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow < 200 \text{ kg / cm} \Rightarrow \dots\dots(\text{OK!})$$

➤ Sisi Atas bagian Tengah Bantalan

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A_2} + \frac{P_{efektif} \cdot e}{W_{1(a)}} - \frac{M}{W_{1(a)}} \quad \text{dengan } e = 1,055$$

$$\sigma = \frac{18 \times 1.783,76 \text{ kg}}{400,75 \text{ cm}^2} + \frac{18 \times 1.783,76 \times 1,055}{1.125,35 \text{ cm}^3} - \frac{50.613,54}{1.125,35}$$

$$\sigma = 80,12 + 30,10 - 44,98$$

$$\sigma = 65,24 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow < 200 \text{ kg / cm} \Rightarrow \dots\dots(\text{OK!})$$

➤ Sisi Bawah bagian Tengah Bantalan

$$\sigma = \frac{P_{efektif}}{A_2} - \frac{P_{efektif} \cdot e}{W_{1(b)}} + \frac{M}{W_{1(b)}} \quad \text{dengan } e = 1,055$$

$$\sigma = \frac{18 \times 1.783,76 \text{ kg}}{400,75 \text{ cm}^2} - \frac{18 \times 1.783,76 \times 1,055}{1.206,63 \text{ cm}^3} + \frac{50.613,54}{1.206,63}$$

$$\sigma = 80,12 - 28,07 + 41,95$$

$$\sigma = 94 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow < 200 \text{ kg / cm} \Rightarrow \dots\dots(\text{OK!})$$

Dari perhitungan analisa tegangan, bantalan beton diatas dengan kuat tekan beton K-500 kg/cm² dapat diambil kesimpulan bahawa bantalan beton yang ada saat ini masih memenuhi syarat standar dalam pengoperasian perkeretaapian yang ada pada wilayah penelitian yakni Tanjung Karang – Bekri Divre IV Tanjung.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisa tegangan pada Rel dan bantalan Beton jalan rel lintas Tanjung Karang-Bekri berdasarkan *passing tonnage* maka dapat disimpulkan :

- 1) Jalan rel lintas Tanjung Karang-Bekri merupakan jalan rel kelas I (Klasifikasi jalan rel PM-60 Tahun 2012) dengan daya angkut lintas yang melewati jalan rel sebesar 20 x 10⁶ Ton/tahun,

- 2) Analisis Rel berdasarkan beban dinamis = 16.940,30 kg
- 3) Analisis Rel berdasarkan Tegangan terhadap Tegangan ijin Kelas Jalan = 1.047,09 kg/cm² < 1.325 kg/cm² (memenuhi syarat)
- 4) Analisis Rel berdasarkan Tegangan terhadap Tegangan ijin yang terjadi di dasar rel = 1.181,56 kg/cm² > 1.176,80 kg/cm² (tidak memenuhi syarat)
- 5) Perhitungan umur rel berdasarkan kondisi lintas (asumsi rel baru) = 17 tahun
- 6) Berdasarkan analisa nilai modulus elastisitas bantalan berdasarkan nilai $F_{cu} = E = 6400\sqrt{500} = 1,431083506 \times 10^5 \text{ kg/cm}$
 Analisis Tegangan tahap Pratekan Awal Bantalan :
 - Sisi atas bagian bantalan bawah rel = 85,84 kg/cm² < 200 kg/cm² (OK)
 - Sisi bawah bagian Bantalan Bawah Rel = 93,13 kg/cm² < 200 kg/cm² (OK)
 - Sisi Atas bagian Tengah Bantalan = 140,28 kg/cm² < 200 kg/cm² (OK)
 - Sisi Bawah bagian Tengah Bantalan = 66,24 kg/cm² < 200 kg/cm² (OK)
- 7) Analisis Tegangan tahap Pratekan Efektif Bantalan :
 - Sisi atas bagian bantalan bawah rel = 137,37 kg/cm² < 200 kg/cm² (OK)
 - Sisi bawah bagian Bantalan Bawah Rel = 45,12 kg/cm² < 200 kg/cm² (OK)
 - Sisi Atas bagian Tengah Bantalan = 65,24 kg/cm² < 200 kg/cm² (OK)
 - Sisi Bawah bagian Tengah Bantalan = 94,00 kg/cm² < 200 kg/cm² (OK)
- 8) Jalan rel untuk lintas Tanjung Karang-Bekri rel yang digunakan sepenuhnya adalah rel tipe R.54 sepanjang 64.95 Kilometer, berdasarkan daya angkut lintas maka rel R.54 perlu dilakukan penggantian menjadi rel tipe R.60

dalam waktu dekat ini guna keamanan dan kenyamanan operasional jalan rel kereta api, dari analisis momen dan tegangan bantalan, tipe bantalan beton produksi BSD beton memenuhi standar layanan untuk operasional jalan rel.

Saran

Perlunya dilakukan penggantian rel R.54 sesuai dengan Peraturan Desain jalan rel peraturan Menteri Perhubungan nomor 60 tahun 2012 (PM 60 Tahun 2012) yang menggunakan R.54/R.60 sebagai tipe rel untuk jalan rel kelas I, untuk lintas Tanjung Karang-Bekri. Penggantian ini bertujuan menjaga keamanan dan kenyamanan pada operasional jalan rel kereta api.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*, Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2012. Jakarta.
- Anonim, 2011, *Penggunaan Sarana Pada Lintas Dengan Lebar Jalan Rel 1.067*, (Peraturan Dinas No. 8 Edisi 2011). Bandung.
- Atmaja. Sri P. Rosyidi 2015. *Rekayasa Jalan Kereta Api (Tinjauan Struktur Jalan Rel)*. Lembaga Penelitian, Publikasi dan Pengabdian Masyarakat Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- PJKA. 1986. *Perencanaan Konstruksi Jalan Rel* (Peraturan Dinas No. 10). Bandung.
- PJKA. 1986. *Penjelasan Perencanaan Konstruksi Jalan Rel* (Peraturan Dinas No. 10). Bandung.
- PJKA. 1986. *Spesifikasi Rel dan Bantalan Berdasarkan Peraturan Dinas No. 10 PJKA 1986 Sub Direktorat Jalan Jembatan*. Bandung.
- PT KAI. 2017. *Buku Grafik Perjalanan Kereta Api*. (GAPEKA) Divisi Regional IV Tanjung Karang.